

博士論文

イチゴジャムの力学的物性がテクスチャーおよび
フレーバーリリースに及ぼす影響に関する研究

(要約)

平成 30 年 9 月

広島大学大学院生物圏科学研究科

生物機能開発学専攻

黒飛 知香

第1章：序論

我が国では、食の欧米化や共働きなど生活形態が大きく変化し、食生活の多様化が進んでいる。そのため、消費者のニーズを把握し、嗜好にあった商品を生み出すことは食品産業にとって重要な課題である。

ジャム産業においては、消費者の健康志向に伴い、低糖度化が進んでおり、糖度別生産割合の約半分を占めている。ジャムは、果実、野菜、花卉に砂糖類を加えてゼリー化するようになるまで加熱したもの、あるいはそれに酒類、酸味料、ゲル化剤（ペクチン）などを加えたものと定義されている。ジャムの可溶性固形分（糖度）は、国際食品規格（CODEX）では60～65%以上、日本農林規格（JAS）では糖度40%以上と低くなっている。

特に、低糖度のジャムでは、甘さがひかえめであることから、より果実の風味が重要になる。また、ジャムはテクスチャーの違いが風味の感じ方に大きく影響することが知られている。低糖度ジャムは、果実等に本来含まれているペクチンのみではゲル化しないため、ローメトキシル（LM）ペクチンを添加する。しかし、添加したLMペクチンは、官能基の割合が同一であっても、メーカーの製造条件（抽出方法、加熱時の温度、pHなど）によって官能基の分布が異なり、ゲル化後の弾性や粘性に大きな差が生じる。そのため、低糖度ジャムのテクスチャーおよび風味の向上や改良を行うためには、適切なペクチンの種類の選択や濃度の設定を行うことが極めて重要である。

本論文では、まず始めに、我が国で市販されている輸入品および国産品のジャムの官能特性（甘味・酸味・イチゴ風味）を評価し、さらに、ジャムの主要構成成分の分析と簡易的な力学的物性値（ジャムの製造現場で利用されている経験的方法による評価値）を調べ、イチゴジャムの官能特性と相関性が高い成分および物性について検討を行った。次に、LMペクチンの種類および濃度を変えた低糖度のモデルイチゴジャムを調製し、官能特性（テクスチャーおよび風味）に影響を与える力学的物性を検討した。機器測定には、先述の簡易的な力学的物性値の測定に加え、動的粘弾性測定法、ショートバックエクストルージョン（SBE）法を用いた。さらに、官能評価値と機器測定による力学的物性値の相関関係から、官能特性（テクスチャーおよび風味）に影響を及ぼす力学的物性値を明らかにした。併せて、官能特性に対応した力学的物性の評価方法および測定条件を明らかにした。これらの結果をもとに、口腔内の物理的な状態（温度・舌の動き・唾液の有無）が官能特性の知覚に与える影響を検討し、各官能特性（甘味・酸味・イチゴ風味）の知覚順序について推測した。また、官能評価および機器測定から得られたイチゴ風味の知覚強度に影響する力学的物性値について、実際にジャムを摂食した時点から嚥下までの動態を嚥下造影検査（Swallowing Videofluorography, 以下VF）により観察し、推測した知覚順序との対応を評価した。最後に、得られた結果を総合的に考察し、市販イチゴジャムにおいても本研究結果が適用できるかについて評価を行った。

第2章：市販イチゴジャムにおける風味要素の Time-Intensity プロファイリング

本章では、輸入品を含む国内で市販されている様々なイチゴジャムを用い、Time-Intensity（TI）法によって官能特性（甘味・酸味・イチゴ風味）の強度の時間変化や持続時間などについて数値化を試みた。成分分析には、糖度、酸度、pH、色の測定のほか、糖分析、有機酸分析を行った。簡易的な物性評価は、ラインスプレッドテスト（LST）による広がりやすさの評価およびリングろ紙法を用いた離水評価を行った。

糖度の測定結果から、用いた試料は低糖度から高糖度まで含まれており、種々の糖度タイプを含んでいることが確認できた。TI法の結果から、いずれの風味も最大強度（ I_{max} ）が高いものほどTI曲線下面積（AUC）や全応答時間（ T_{tot} ）などの全体的に感じる強度が強く、強度と持続性には関連があることが示唆された。また、国産の低糖度ジャムでは、甘味が控えめでありながら、イチゴ風味が高い傾向が認められた。一方、輸入品は、中糖度、高糖度と糖度タイプが異なっても主成分分析では近くに布置され、国産品に比べ甘味と酸味が強い傾向を示した。糖度タイプ別では、中糖度、高糖度に比べ、低糖度タイプがイチゴ風味の強度も強く、持続時間が長い傾向を示しており、甘味が強い試料ほど、イチゴ風味が弱い傾向が認められた。さらに、甘味の強さは、おおよそ糖度と一致していることが明らかになった。また、主要構成成分の分析値および機器測定による力学的物性値から、

各官能特性に影響する主な因子は、甘味では糖度、糖組成、離水率、酸味では酸度、クエン酸、イチゴ風味では糖度、離水率であることが明らかになった。

以上の結果より、市販イチゴジャムの喫食中に連続的に変化する官能特性（甘味・酸味・イチゴ風味）の強度や持続時間は、成分および物性の影響を強く受けていることが明らかになった。しかし、市販イチゴジャムはイチゴの品種や原料の配合が様々であり、配合成分の影響も考えられる。そこで、配合を統一し、ペクチンの種類・濃度のみを変化させたモデルイチゴジャムを調製し、テクスチャーに及ぼす力学的物性の影響を第3章で、風味に及ぼす力学的物性の影響を第4章でそれぞれ検討した。

第3章：モデルイチゴジャムのテクスチャーに関する官能特性に影響を与える機器分析項目の検討

本章では、ペクチンの種類（4種類）および濃度（3種類）を変えて調製した低糖度モデルイチゴジャム12試料を用い、官能特性（かたさ・ねっとり・なめらかさ・口どけ・べたつき）に及ぼす力学的物性の影響を調べ、併せて、官能特性に対応した力学的物性の評価方法および測定条件を検討した。官能評価には、Descriptive analysis (DA) 法を適用した。機器分析には、第2章で用いた測定法に加え、ジャムから固形物（果肉、種など）を取り除いて測定する動的粘弾性測定法および果肉などの固形物を含んだ状態でずり速度や見かけ粘度が測定できるSBE法を用いた。官能評価の結果から、いずれのペクチンにおいてもペクチン濃度の増加に伴い、かたく、ねっとり、べたつきは高くなる傾向を示した。一方、なめらかさ、口どけは、ペクチン濃度の増加に伴い、低下する傾向を示した。さらに、テクスチャー評価値は、見かけ粘度の影響が最も高いことが明らかになった。かたさ、ねっとりは、ずり速度 0.01 [1/s] (20°C, 唾液なし) 時の見かけ粘度と最も高い相関を示した。一方、なめらかさ、口どけ、べたつきは、ずり速度 0.81, 1.87, 5.19 [1/s] (29.3°C, 唾液あり) 時の見かけ粘度と最も高い相関が認められた。

第4章：モデルイチゴジャムの風味に関する官能特性に影響を与える機器分析項目の検討

本章では、第3章と同じ試料を対象に、低糖度モデルイチゴジャムのテクスチャー変化に伴う官能特性（甘味・酸味・イチゴ風味）に及ぼす力学的物性の影響を調べ、併せて、官能特性に対応した力学的物性の評価方法および測定条件を検討した。官能評価には、第2章と同じTI法を用いた。機器分析は、第3章の測定法に加え、離水評価を実施した。官能評価の結果から、いずれのペクチンにおいてもペクチン濃度の増加に伴い、甘味・酸味・イチゴ風味の官能評価値が低下し、その持続時間も短くなる傾向を示した。また、第2章の市販品イチゴジャムと同様に、TI曲線から得られる I_{max} が高い試料ほど、AUCが大きく、 T_{tot} も長い傾向を示した。これは、低糖度ジャムにおいても風味の強度と持続に関連性があることを示している。さらに、酸味については、 I_{max} 、AUCおよび T_{tot} は降伏値と高い相関を示した。これは、酸味が短時間における力学的物性の影響を受けていることを示している。甘味については、 I_{max} およびAUCは見かけ粘度と、最大強度の時間 (T_{max}) は G^* と高い相関を示した。イチゴ風味については、 I_{max} 、AUCおよび T_{tot} は見かけ粘度と、 T_{max} は G'' と高い相関を示した。イチゴ風味は、すべてのTIパラメータ (I_{max} , T_{max} , AUC, T_{tot}) において力学的物性の寄与率が高く、甘味、酸味に比べ力学的物性の影響を強く受けていることが示唆された。さらに、重回帰分析を行ったところ、酸味の I_{max} およびイチゴ風味の I_{max} 、AUCには、離水率が10%程度寄与していることが明らかになった。

第5章：嚥下造影検査 (Swallowing Videofluorography, 以下VF) による咽頭通過時間の計測

本章では、第4章で得られたイチゴ風味知覚に影響する力学的物性値について、嚥下造影検査 (VF) によるジャムの咽頭通過の動態から力学的物性値を検証した。嚥下造影検査用の試料には、第3章の官能評価において「最もかたい」、「最もゆるい」と評価された2試料を用いた。測定は、ジャム3gに造影剤を加えたものを摂食し、口腔から咽頭通過までを動画として記録した。この動画から咽頭通過時間 (Pharyngeal Transit Time, 以下PTT) および咽頭移動距離 (Pharyngeal Transit Length, 以下PTL) を求め、ずり速度、見かけ粘度を推算した。その結果、VFから得られたずり速度における見かけ粘度が第4章で得られたイチゴ風味 I_{max} と見かけ粘度の近似曲線とほぼ一致していることが明らかに

なった。

第6章：総合考察「テクスチャーおよび風味の知覚順序に関する考察」

本章では、第3章および第4章で得られた官能特性（テクスチャー・風味）と相関が高かった力学的物性を用いて、各官能特性の知覚時の口腔内状態および知覚順序について考察した。

第3章と第4章において、テクスチャー評価値（かたさ、ねっとり、なめらかさ、口どけ、べたつき）は、見かけ粘度と相関が高いことを明らかにした。そこで、見かけ粘度に依存している「ずり速度」を基準とし、各テクスチャー知覚時の口腔内状態および知覚順序を以下のように推測した。かたさ、ねっとりは、口に入れてすぐの微小な動き（ずり速度 0.01[1/s], 20°C）によって知覚される。一方、なめらかさ、口どけ、べたつきは、SBE法の29.3°Cの唾液あり条件と相関が高く、いずれもかたさ、ねっとりよりも速いずり速度の下で知覚される。なめらかさ、口どけ、べたつきは、かたさ、ねつとりを知覚した後にジャムと唾液が混和され、口腔内温度も上昇した状態で知覚されていると考えられる。なめらかさは、舌を少し動かした状態で知覚され、口どけは、やや速い舌の動きでの下で知覚される。べたつきは、より速いずり速度で飲み込む直前に残った抵抗感から知覚される。

風味評価値（甘味、酸味、イチゴ風味）は、パラメータ（ I_{max} , T_{max} , AUC, T_{tot} ）ごとに相関が高い力学的物性が異なっていた。酸味は、いずれのパラメータにおいても降伏値との相関が高いことから、ジャムを口に入れてすぐ知覚される。甘味 T_{max} は、 G^* と相関が高いことから、甘味 I_{max} を感じるまでに加えた変形に対応する力と解釈することができる。甘味 I_{max} は、SBE法の29.3°Cの唾液あり条件と相関が高く、かたさ、ねつとりと相関が高かったずり速度 0.01[1/s]よりやや速いずり速度 0.012[1/s]で相関が高かった。一方、甘味の持続的な強さを示す甘味 AUC は、SBE法の29.3°Cの唾液なし条件と相関が高かった。甘味については口腔内温度が上がり唾液と混ざる前から知覚され始め、かたさ、ねつとりを感じた後の変形、唾液との混和により最も強く感じられ、その後も継続して知覚されると推測した。イチゴ風味は、 I_{max} , AUC, T_{tot} においてSBE法の29.3°Cの唾液あり条件の見かけ粘度と相関が高かった。イチゴ風味の T_{max} は、 G'' との相関が高いことから、 G'' (20°C)が高くなるほど粘性寄与率が高いため、29.3°Cで唾液と混和されてずり速度 13.6[1/s]の見かけ粘度に変化するまでにかかる時間と解釈できる。これらの見かけ粘度に対応するずり速度 13.0, 13.6[1/s]から、イチゴ風味は、ジャムを口に入れて味わいながら唾液と混和された状態で飲み込む直前に感じるものと推測した。

第7章：総括

本研究により、市販イチゴジャムの風味の強さや持続時間に関する官能特性に影響を及ぼす因子の抽出とそれらの関連性を把握することができた。また、低糖度モデルイチゴジャムでは、ペクチンの種類および濃度によってテクスチャーおよび風味の特性が大きく変化し、ペクチンの種類および濃度の設定がジャムの品質向上には重要であることが明らかになった。さらに、官能特性（テクスチャー・風味）に影響する力学的物性値から各官能特性の知覚時の口腔内状態および知覚順序を推測することができた。本研究のモデルイチゴジャムにおける各官能特性の I_{max} と相関が高かった力学的物性値について、市販イチゴジャムへの適用の可能性を検討した。その結果、イチゴ風味については見かけ粘度、酸味については降伏値と良好な相関が認められた。また、甘味と見かけ粘度の間にも正の相関が認められた。以上のことから、本研究成果が、市販品に応用できる可能性を示すことができた。本研究で得られた知見は、テクスチャーおよび風味に及ぼす力学的物性を指標とした糖質制限食や介護食などのテクスチャーコントロールや風味増強などの応用にも有用である。